

鋼-コンクリート合成断面における正曲げ耐力の確率分布

長崎大学工学部 学生会員 ○荒木 智 長崎大学工学部 正 会 員 中村聖三
 長崎大学工学部 正 会 員 呉 慶雄 長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄

1. まえがき

我が国の道路橋は「道路橋示方書」に基づき設計されている。現行の道路橋示方書には許容応力度設計法が採用されており、構造物は材料の弾性限度内で設計されることになる。そのため、鋼材が本来有する塑性域での伸び性能などを有効に活用していないと考えられ、我が国の社会的背景を考慮すると、断面の全塑性モーメントを基準とする塑性設計法の採用はコスト削減の観点から有効であると思われる。本研究では塑性設計法を導入するための基礎的な検討として、モンテカルロ法¹⁾を用いたシミュレーションを実施し、鋼材特性の応力-ひずみ関係を規定するパラメータが確率的に変動する場合における鋼-コンクリート合成断面の正曲げ耐力の確率分布を明らかにする。

2. 解析概要

2-1. 解析モデルと材料特性

本研究では、図-1に示すコンクリート床版とH形鋼桁の合成断面を解析対象とし、表-1に示す断面形状を基準とする。

コンクリートの応力-ひずみ関係には、コンクリート標準示方書²⁾で規定されているものを用い、鋼材の応力-ひずみ関係には土木学会新技術小委員会³⁾で提案されたものを用いる。ひずみ硬化後の応力-ひずみ関係を以下の式(1)に示す。本研究では式(1)のパラメータのうち、 ξ , E_{st} , ε_{st} を対数正規分布⁴⁾に従う独立した確率変数と仮定する。本研究で用いたコンクリートおよび鋼材の材料特性を、それぞれ表-1, 表-2に示す。なお、 ξ , E_{st} , ε_{st} の平均値と標準偏差は、文献5), 6)を参考に設定したものである。

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = \frac{1}{\xi} \frac{E_{st}}{E} \left[1 - \exp \left\{ -\xi \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - \frac{\varepsilon_{st}}{\varepsilon_y} \right) \right\} \right] + 1 \cdots (1)$$

2-2. 確率分布の算定手順

本研究における曲げ耐力の確率分布の算定手順は以下のとおりである。

- ① モンテカルロ法を用いたシミュレーションにより、式(1)における3つのパラメータ ξ , E_{st} , ε_{st} について、仮定した対数正規分布に従う乱数を発生させ、その値を決定する。
- ② コンクリート床版の上縁のひずみをコンクリートの破壊ひずみとし、中立軸の位置を仮定することにより平面保持の法則に基づきひずみ分布決定し、式(1)を用いて応力分布を求める。
- ③ 釣り合い条件より、各ファイバーにおける力の総和が零となるまで②を繰返し、釣り合った時点での応力分布から終局モーメントを算定する。
- ④ 所定の回数(本研究では5万回)①~③を繰返し、得られた曲げ耐力をヒストグラム化する。これを確率密度関数とする。

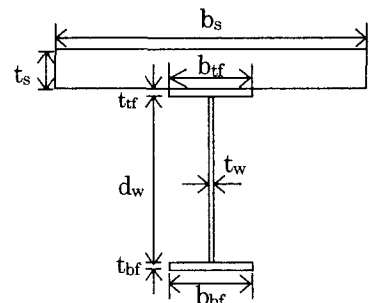


図-1 鋼-コンクリート合成断面

表-1 断面形状

コンクリート床版	幅: $b_s=3000$
	厚さ: $t_s=210$
上フランジ	幅: $b_{tf}=300$
	厚さ: $t_{fr}=28$
ウェブ	高さ: $d_w=844$
	厚さ: $t_w=16$
下フランジ	幅: $b_{br}=300$
	厚さ: $t_{br}=28$

表-2 コンクリートの材料特性

設計基準強度 f_{ck} (N/mm ²)	30
終局ひずみ ε_u	0.0035

表-3 鋼材の材料特性

鋼種		SS400
ヤング係数 $E(N/mm^2)$		200000
降伏強度 $\sigma_y(N/mm^2)$		235
引張強度 $\sigma_u(N/mm^2)$		455
降伏ひずみ ε_y		0.00118
ξ	平均値	0.049
	標準偏差	0.027
ひずみ硬化係数 $E_{st}(N/mm^2)$	平均値	4070
	標準偏差	1320
ひずみ硬化開始 点ひずみ ε_{st}	平均値	0.0185
	標準偏差	0.0049

3. 解析結果の一例と考察

図-2~4 にモンテカルロ・シミュレーションによって得られた 3 つのパラメータのヒストグラムを、仮定した対数正規分布の確率密度関数と比較して示す。同図には、シミュレーションで得られた各パラメータの平均値と標準偏差も併せて示している。いずれのパラメータについても、シミュレーションより算出されたヒストグラムと対数正規分布の曲線がほぼ重なっている。また、表-2 の値と比較すると、算出されたパラメータの平均値、標準偏差の誤差は最大でも 0.4%と極めて小さく、シミュレーションから得られたデータは仮定した対数正規分布に従っていると判断できる。

図-5 には、曲げ耐力のヒストグラムを示す。同図には、算定された終局モーメントの平均値と標準偏差、さらに、全塑性モーメントも併せて示している。得られた終局モーメントのヒストグラムの形は右にひずんでいる。この要因は、各パラメータを対数正規分布に従うと仮定したため、パラメータは零を下回ることが無く、分布形が左にひずんでいるからだと考えられるが、現段階では明確ではない。また、図-5 に添えている全塑性モーメント $M_p = 4.369 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$ よりも終局モーメントの値が小さくなる確率は 0.0259 となった。よって、表-1、表-2 のコンクリートおよび鋼材の材料特性において断面が全塑性モーメント以下の曲げ耐力を有する確率は 3%以下ということになる。さらに、シミュレーションより得られた終局モーメントの最下値からの累積確率が 1%および 5%に対する値は、それぞれ $4.359 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$ 、 $4.462 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$ と算定された。

4. あとがき

本研究では、鋼材の応力-ひずみ関係を規定するパラメータを対数正規分布に従う確率変数であると仮定し、モンテカルロ・シミュレーションによって、限られたパラメータの組み合わせに対してではあるが、終局モーメントの確率分布を明らかにした。今後、3つのパラメータ ξ 、 E_{st} 、 ε_{st} の平均値と標準偏差、また、フランジ幅を変化させて正曲げ耐力の確率分布に対する影響を明らかにする予定である。

参考文献

- 1) 伊藤ほか：土木・建築のための確率・統計の応用，pp297~356，1988
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書，pp23~25，1996
- 3) 土木学会鋼構造新技術小委員会：鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術，1996
- 4) 池守：土木計画のための確率・統計序説，pp30~45，1985.5
- 5) 青木ほか：素材引張試験結果による構造用鋼材の力学的性質に関する統計的調査，日本建築学会構造系論文報告集第 358 号，pp94~102
- 6) 日本鋼構造協会：鋼橋の要求性能と安全性評価技術，pp13~21，2002

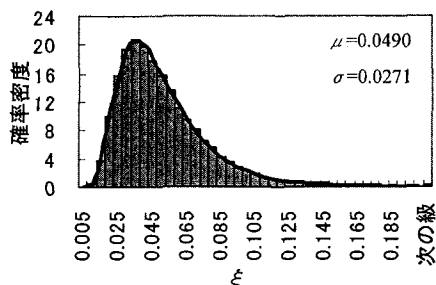


図-2 確率密度関数 (ξ)

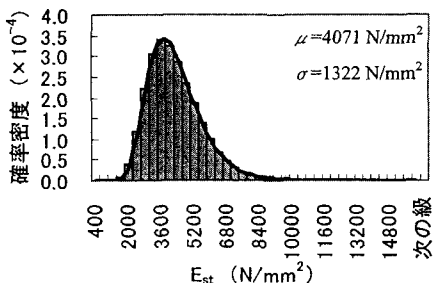


図-3 確率密度関数 (E_{st})

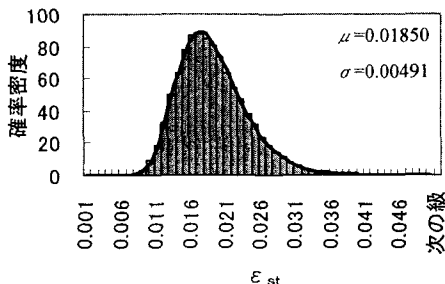


図-4 確率密度関数 (ε_{st})

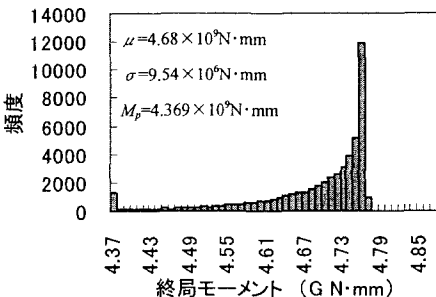


図-5 曲げ耐力のヒストグラム